

# VARIACIONES Y TENDENCIAS DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS DESDE MEDIADOS DEL SIGLO XX EN LISBOA

Paulo PEREIRA<sup>1</sup>, Liliane MORAIS<sup>2</sup>, Xavier UBEDA<sup>1</sup>, Arturo SÁNCHEZ-LORENZO<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>*GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània) Universitat de Barcelona.*

<sup>2</sup>*Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*

<sup>3</sup>*Grup de Climatologia Universitat de Barcelona*

pereiraub@gmail.com

## RESUMEN

El presente trabajo estudia la evolución del número de días con valores extremos de la temperatura media ( $T_{\text{med}}$ ), temperatura mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) y temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) en la ciudad de Lisboa durante la segunda mitad del siglo XX y principios del XXI (1950-2005). Los resultados indican en general una disminución en todos los meses, estaciones y anualmente de los días inferiores al primer decil ( $D_1$ ) y un aumento de los días superiores al noveno decil ( $D_9$ ). La comparación entre dos subperíodos (1950-1977 y 1978-2005) indica la existencia de un cambio en el régimen térmico, principalmente en la  $T_{\text{mín}}$ , durante el verano y anualmente, que puede ser consecuencia del efecto urbano y/o del cambio climático. Por otra parte, la disminución de noches frías estivales está relacionada con cambios recientes en la circulación atmosférica, en concreto con la mayor ocurrencia de situaciones anticiclónicas en el norte de África que aportan aire cálido y seco en la Península Ibérica.

**Palabras clave:** Cambio climático, circulación atmosférica, efecto urbano, Lisboa, temperaturas extremas diarias.

## ABSTRACT

The aim of this work is to study the evolution of the number of days with extreme temperature values of mean temperature ( $T_{\text{med}}$ ), minimum temperature ( $T_{\text{mín}}$ ) and maximum temperature ( $T_{\text{máx}}$ ) in Lisbon during the second half of the XX<sup>th</sup> century and the beginning of the XXI<sup>st</sup> century (1950-2005). The results show a general reduction of the days below the 1<sup>st</sup> decil ( $D_1$ ) and an increase in the number of days above the 9<sup>th</sup> decil ( $D_9$ ). The comparison between two subperiods (1950-1977 and 1978-2005) shows the existence of a change in the thermal regime, mainly in  $T_{\text{mín}}$ , in summer and annually, which might be related to an urban effect and/or to climate change. Furthermore, the reduction of summer cold nights might be related to recent changes in synoptic patterns, above all, with the anticyclone variability over Northern Africa which convey hot and dry air towards the Iberian Peninsula.

**Key words:** Climate change, daily temperature extremes, Lisbon, synoptic circulation, urban effect.

## 1. INTRODUCCIÓN

La temperatura media ( $T_{\text{med}}$ ) ha subido  $+0.74\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre 1906 y 2006, aunque durante los últimos 50 años ( $+0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C/decada}$ ) el calentamiento ha sido casi el doble respecto a los últimos 100 años ( $0.07\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C/decada}$ ) (TRENBERTH *et al.*, 2007). Uno de los efectos más visibles de este aumento térmico, sin precedentes instrumentales, ha sido el cambio en la variabilidad y tendencias de las temperaturas extremas, aspecto de especial interés en el presente y futuro por las importantes repercusiones que tiene en la sociedad y ecosistemas (EASTERLING *et al.*, 2000a; MOBERG y JONES, 2005). Los principales impactos en la sociedad vendrían ligados a la pérdida de vidas humanas y económicas (EASTERLING, 2000b), y serían particularmente importantes en las ciudades al concentrarse en ellas gran parte de la población mundial. Igualmente, el efecto urbano o islas de calor que tienen lugar en las urbes (OKE, 1987) provocan aumentos de las temperaturas, especialmente de las mínimas ( $T_{\text{mín}}$ ), en las ciudades. Debido a la localización de la mayoría de observatorios con las series más largas en ciudades o inmediaciones de las mismas, el efecto urbano en las series termométricas resulta difícil de discriminar y eliminar. Aunque algunos autores aún muestran ciertas dudas respecto a la posible influencia de un efecto urbano en el calentamiento experimentado durante las últimas décadas (QUEREDA SALA *et al.*, 2000; entre otros), en la actualidad se considera que dicho efecto es insignificante a escala global (PARKER, 2004). Así, según TRENBERTH *et al.* (2007), las islas de calor urbano solamente tienen un efecto local y su influencia en el aumento en la temperatura global es residual ( $0.0006\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Al igual que las  $T_{\text{med}}$ , se ha observado a lo largo del siglo XX un aumento de las  $T_{\text{mín}}$  y temperaturas máximas ( $T_{\text{máx}}$ ), teniendo las primeras una mayor tasa de aumento, aunque con una marcada diferenciación intraanual en sus tendencias (EASTERLING *et al.*, 1997; VOSE *et al.*, 2005).

El presente trabajo muestra la evolución de los extremos de las series de  $T_{\text{med}}$ ,  $T_{\text{mín}}$  y  $T_{\text{máx}}$  diarias en la ciudad de Lisboa durante la segunda mitad del siglo XX y principios del XXI (1950-2005), a resolución anual, estacional y mensual. Como índices de extremos térmicos se ha analizado el número de días inferior al primer decil ( $D_1$ ) y superior al noveno decil ( $D_9$ ).

## 2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos de la estación Lisboa-Geofísico, emplazada a  $38^{\circ} 43' \text{N} - 09^{\circ} 09' \text{W}$  y 77 m.s.n.m, proceden del proyecto *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D) y se hallan disponibles online en <http://eca.knmi.nl/>. En KLEIN TANK *et al.* (2002) y WIJNGARD *et al.* (2003) se describen los controles de calidad y métodos de homogeneización de las series. Los extremos se identificaron a través de los índices  $D_1$  y  $D_9$ , también empleada por otros estudios de extremos climáticos (MOBERG y JONES, 2005; HUNDECHA y BÁRDOSSY, 2005; entre otros), durante el período 1950-2005. Se calculó el  $D_1$  y  $D_9$  de la  $T_{\text{mín}}$ ,  $T_{\text{med}}$  y  $T_{\text{máx}}$  del período de referencia 1961-1990, y después se ha identificado el número de días de la  $T_{\text{mín}}$ ,  $T_{\text{med}}$  y  $T_{\text{máx}}$  por debajo del primero y por encima del segundo durante el período 1950-2005 a resolución anual, estacional y mensual, considerado diciembre, enero y febrero para el invierno; marzo, abril y mayo para la primavera; junio, julio y agosto para el verano; y septiembre, octubre y noviembre para el otoño.

Después de identificar el total de días con temperaturas inferiores al  $D_1$  y superiores al  $D_9$ , se analizó la significación de las series empleado el test no paramétrico Mann-Kendall

(STEPANEK, 2006). Igualmente, se ha dividido el período de estudio en dos subperíodos (1950-1977 y 1978-2005) con el objetivo de encontrar diferencias entre ellos y de constatar si durante último cuarto del siglo XX se ha experimentado un aumento importante de las temperaturas que pueda vincularse con la influencia antrópica (STOTT *et al.*, 2000; MEEHL *et al.*, 2004; KLEIN TANK *et al.*, 2005). A resolución anual las diferencias son representadas en curvas de Gauss, con el propósito de observar las posibles diferencias en su forma y evaluar la significación de los cambios. La normalidad de las series de los dos subperíodos fue analizada empleando el test Shapiro-Wilk (SHAPIRO y WILK, 1965). En el caso de que las series cumpliesen los criterios de normalidad, la comparación entre ellas es efectuada a través del test de *t-student*, si son clasificadas como no normales se aplica el test de comparación de medianas *Wilcoxon match pairs*.

Con el objetivo de establecer una relación entre los cambios de las temperaturas extremas ocurridos en Lisboa y posibles cambios en la circulación atmosférica, se han calculado las correlaciones entre la serie estival (solamente en la  $D_1$  de la  $T_{\min}$ ) y las series de presión atmosférica a nivel del mar extraída de una malla de 5° de resolución (TRENBERTH y PAOLINO, 1980) de la ventana 70°N-20°N - 50°W-20°E.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de tendencias muestran que en la ciudad de Lisboa hay un descenso general y significativo del número de días con  $T_{\min}$  inferiores al  $D_1$ , así como un incremento significativo del número de días con  $T_{\min}$  superior al  $D_9$  a excepción de los meses de enero y mayo (Tabla 1). Una situación semejante se observa en el  $D_1$  de la  $T_{\text{med}}$ , detectándose una disminución significativa del número de días en las series analizadas, aunque con la excepción de los meses de abril, mayo y noviembre. Igualmente, se detecta un aumento significativo en el número de días con temperaturas superiores al  $D_9$  de la  $T_{\text{med}}$  en los meses de febrero, marzo, junio y agosto, así como en invierno, primavera, verano y anualmente. En cambio, la  $T_{\max}$  sólo muestra tendencias negativas significativas en el número de días inferiores al  $D_1$  en los meses de febrero, marzo, agosto, y estacionalmente en invierno y primavera. Con respecto a la tendencia positiva del número de días con  $T_{\max}$  superiores al  $D_9$ , sólo es significativa en marzo, invierno y la serie anual.

Con todo, las  $T_{\min}$  muestran, en comparación con las  $T_{\text{med}}$  y  $T_{\max}$ , una mayor magnitud de las tendencias, con un mayor aumento del número de días inferiores y superiores al  $D_1$  y  $D_9$ , respectivamente. Así, las temperaturas nocturnas presentan una mayor tasa de aumento respecto a las temperaturas diurnas, y dicho fenómeno podría estar ligado a una mayor intensidad de la isla de calor urbana durante la noche (OKE, 1987). Aun así, una mayor tasa de aumento de las  $T_{\min}$  en relación a las  $T_{\max}$  ya ha sido observado por EASTERLING *et al.* (1997) y VOSE *et al.* (2005) a nivel planetario durante la segunda mitad del XX, al igual que una reducción en el número de días con temperaturas más bajas (EASTERLING *et al.*, 2000a). Igualmente, FRICH *et al.* (2002) han identificado un incremento sustancial del porcentaje de días con una  $T_{\min}$  superior al  $D_1$  en extensas áreas del planeta. ALEXANDER *et al.* (2006) han observado de forma generalizada que a nivel global se ha registrado una disminución significativa de la ocurrencia anual de noches frías entre 1951 y 2003, así como un aumento significativo de las noches cálidas. Con todo, también existen estudios más detallados centrados sobre Europa que han constatado resultados similares y que concuerdan a grandes rasgos con los resultados

obtenidos en el presente estudio (HEINO *et al.*, 1999; MOBERG y JONES, 2005). Así, recientemente MOBERG *et al.* (2006) han constatado, para el conjunto de Europa y estación invernal, que se ha producido una mayor tasa de aumento de las noches/días cálidos respecto a las tasas de descenso de las noches/días fríos, aspecto que difiere con los resultados obtenidos en el presente estudio. En general, en Lisboa está teniendo lugar, en la línea de las tendencias globales (EASTERLING *et al.*, 1997; BRUNET *et al.*, 2001; VOSE *et al.*, 2005), una reducción de la amplitud térmica diaria.

Para España, existen diferentes estudios que muestran a grandes rasgos resultados similares a los obtenidos en la ciudad de Lisboa, es decir, descensos y aumentos significativos de los días inferiores y superiores al  $D_1$  y  $D_9$ , respectivamente (BRUNET *et al.*, 1999; LABAJO *et al.*, 2006; SEVILLA y RODRIGO, 2006; BRUNET *et al.*, 2007). Aun así, existen matices, como diferencias en las variables ( $T_{\max}$  o  $T_{\min}$ ) que presentan las mayores tasas de aumento o disminución en las tendencias, que podrían estar asociadas a diferencias geográficas o de homogeneidad y calidad de las series empleadas.

	$T_{\min}$		$T_{\text{med}}$		$T_{\max}$	
	$D_1$	$D_9$	$D_1$	$D_9$	$D_1$	$D_9$
Enero	-0.94	+	-0.66	+	-	+
Febrero	-1.12	+1.06	-0.94	+1.38	-0.94	+
Marzo	-1.26	+2.11	-1.06	+2.12	-1.01	+1.46
Abril	-0.74	+1.18	-	+	-	+
Mayo	-0.62	+	-	+	-	-
Junio	-1.22	+1.61	-0.78	+0.78	-	+
Julio	-2.18	+1.20	-0.69	+	-	+
Agosto	-2.52	+2.09	-1.58	+1.00	-0.43	+
Septiembre	-1.49	+0.97	-0.74	+	-	+
Octubre	-0.96	+1.12	-0.52	+	+	-
Noviembre	-0.91	+1.02	-	+	+	+
Diciembre	-1.21	+1.14	-0.83	+	-	+
DEF	-3.18	+2.77	-2.45	+2.64	-1.57	+1.92
MAM	-2.63	+3.98	-1.46	+2.55	-0.93	+
JJA	-5.93	+4.87	-3.42	+2.43	-	+
SON	-3.35	+3.11	-1.87	+	-	+
Anual	-15.11	+14.79	-8.76	+6.15	-	+2.35

Tabla 1: TENDENCIAS DE LA OCURRENCIA DE DÍAS CON TEMPERATURAS INFERIORES AL  $D_1$  Y SUPERIORES AL  $D_9$  PARA LA CIUDAD DE LISBOA ENTRE 1950 Y 2005 (DÍAS/ DÉCADA). LAS CASILLAS CON VALORES MUESTRAN TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS AL 95%. PARA AQUÉLLAS NO SIGNIFICATIVAS SÓLO SE INDICAN LOS SIGNOS.

Al comparar los dos subperíodos (Tabla 2 y Fig. 1) de la segunda mitad del siglo XX (subperíodos 1950-77 y 1978-05) se verifica que hay una reducción importante de los días con temperaturas inferiores al  $D_1$  y un aumento significativo de los días con temperaturas

superiores al  $D_9$ , principalmente en la  $T_{\min}$ . En las  $T_{\min}$ , la reducción del número de días inferiores al  $D_1$  desde 1978, en relación al primer subperíodo, es significativa a resolución estacional y anual, así como las series mensuales, con la excepción de enero, febrero, abril, mayo y octubre. El incremento del número de días con temperaturas superiores al  $D_9$  también es significativa en todos los meses – con la excepción de enero y mayo –, estaciones y anualmente. En relación a la  $T_{\text{med}}$ , la reducción de los días inferiores al  $D_1$  solamente es significativa en los meses de marzo, agosto, septiembre y diciembre, en todas las estaciones – con la excepción de primavera – y anualmente. El incremento significativo de días con  $T_{\text{med}}$  superiores al  $D_9$  se verifica en los meses de marzo, julio y agosto, así como en todas las estaciones y anualmente. Finalmente, para las  $T_{\text{máx}}$  los cambios entre los dos subperíodos son menos significativos para el número de días con temperaturas inferiores y superiores al  $D_1$  y  $D_9$ , respectivamente. El primer índice sólo es significativo en los meses de enero y marzo y en la estación de invierno, mientras que el segundo solamente presenta diferencias significativas en enero, marzo, la estación de invierno y anualmente.

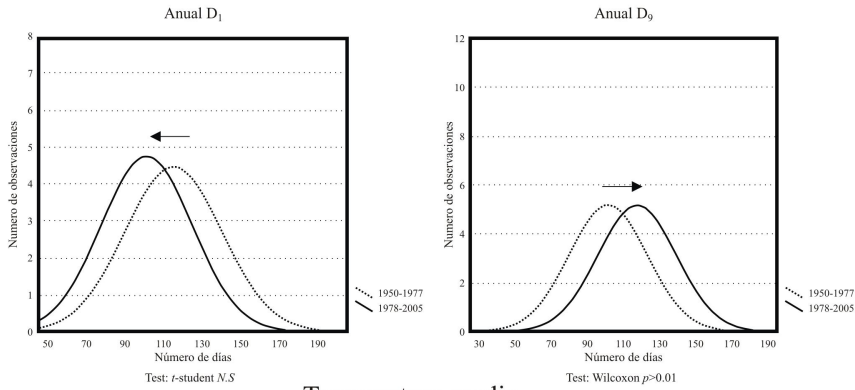
	$T_{\min}$		$T_{\text{med}}$		$T_{\text{máx}}$	
	1950-1977 - 1978-2005		1950-1977 - 1978-2005		1950-1977 - 1978-2005	
	$D_1$	$D_9$	$D_1$	$D_9$	$D_1$	$D_9$
Enero	$N.S.^1$	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^1$	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>
Febrero	$N.S.^2$	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^2$	$N.S.^2$	$N.S.^2$
Marzo	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>1</sup></b>	<b>0.01<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>2</sup></b>	<b>0.001<sup>2</sup></b>
Abril	$N.S.^1$	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^1$	$N.S.^1$	$N.S.^1$	$N.S.^1$
Mayo	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^1$	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^2$
Junio	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>2</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^1$	$N.S.^1$
Julio	<b>0.0001<sup>2</sup></b>	<b>0.001</b>	$N.S.^1$	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^1$	$N.S.^1$
Agosto	<b>0.00001<sup>2</sup></b>	<b>0.00001<sup>2</sup></b>	<b>0.001<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^1$	$N.S.^1$
Septiembre	<b>0.0001<sup>2</sup></b>	<b>0.001<sup>2</sup></b>	<b>0.05<sup>2</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^2$
Octubre	$N.S.^2$	<b>0.05<sup>2</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^2$	$N.S.^2$	$N.S.^1$
Noviembre	<b>0.05<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>2</sup></b>	$N.S.^1$	$N.S.^2$	$N.S.^1$	$N.S.^1$
Diciembre	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>2</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^2$	<b>0.01<sup>2</sup></b>
DEF	<b>0.01<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	<b>0.01<sup>2</sup></b>
MAM	<b>0.05<sup>2</sup></b>	<b>0.01<sup>1</sup></b>	$N.S.^1$	<b>0.001<sup>1</sup></b>	$N.S.^1$	$N.S.^1$
JJA	<b>0.0001<sup>2</sup></b>	<b>0.00001<sup>1</sup></b>	<b>0.001<sup>1</sup></b>	<b>0.01<sup>1</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^1$
SON	<b>0.001<sup>1</sup></b>	<b>0.0001<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	<b>0.05<sup>1</sup></b>	$N.S.^2$	$N.S.^1$
Anual	<b>0.0000000<sup>1</sup></b>	<b>0.0000001<sup>1</sup></b>	<b>0.000000<sup>1</sup></b>	<b>0.001<sup>2</sup></b>	$N.S.^1$	<b>0.01<sup>2</sup></b>

Tabla 2: COMPARACIÓN ENTRE LOS SUBPERÍODOS 1950-1977 Y 1978-2005 DE LOS ÍNDICES DE TEMPERATURA ANALIZADOS ( $N.S.$ -DIFERENCIA NO SIGNIFICATIVA), <sup>1</sup>TEST  $T$ -STUDENT <sup>2</sup>TEST WILCOXON MATCH PAIRS).

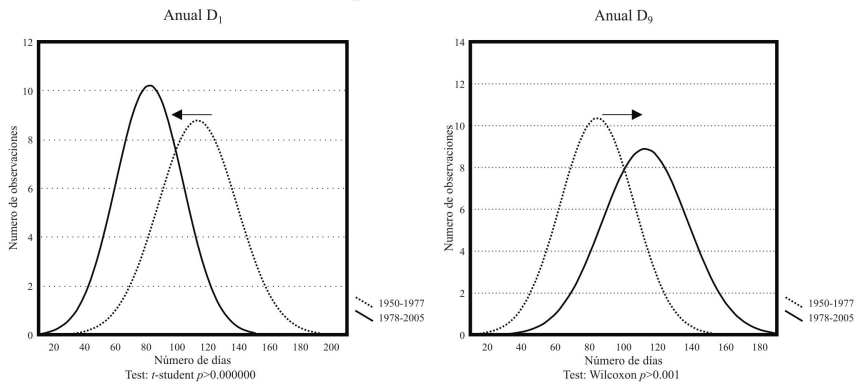
Así, se puede concluir que de forma general se detectan cambios significativos en la reducción de días con temperatura inferiores y superiores al  $D_1$  y  $D_9$ , respectivamente, siendo siempre así

en todas las series termométricas analizadas para el mes marzo y la estación invernal. Coherentemente con nuestros resultados, KLEIN TANK *et al.* (2005) constatan para Europa durante el período 1976-1999, una mayor tasa de calentamiento de las  $T_{med}$  en invierno.

### Temperatura máxima



### Temperatura media



### Temperatura mínima

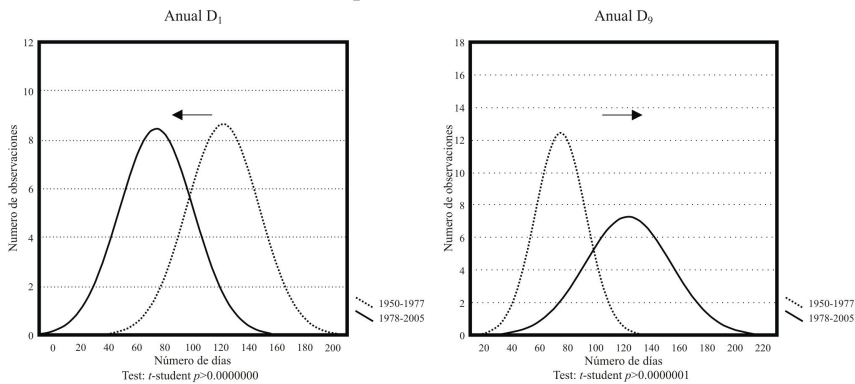


Fig 1: Comparación de las distribuciones del número de días inferiores al  $D_1$  y superiores al  $D_9$  de las  $T_{min}$ ,  $T_{med}$  y  $T_{max}$  para los dos subperíodos (1950-1977 y 1978-2005), a resolución anual, en la ciudad de Lisboa.

En resumen, de nuestros resultados es importante remarcar que hay un cambio significativo de los extremos térmicos en Lisboa, destacando las mayores tasas de cambio en la estación estival para las variables  $T_{\min}$  y  $T_{\text{med}}$ . Este cambio durante el verano puede estar relacionado con el aumento bastante significativo de noches cálidas durante el mismo período, ya identificado por PEREIRA y MORAIS (2007) en la ciudad de Lisboa. Como se ha mencionado anteriormente, las tendencias detectadas podrían estar influidas por un efecto urbano derivado de la expansión de la ciudad durante las últimas décadas. Así, LOPES (2003) ha estimado que el crecimiento de la ciudad de Lisboa ha propiciado una disminución de la velocidad del viento entre un 26 y un 30% y podría ser una de las causas de la reducción y aumento de los días con temperaturas inferiores al  $D_1$  y superiores al  $D_9$ , respectivamente. Con todo, es razonable pensar que la mayor parte del cambio termométrico detectado en Lisboa esté ligado al calentamiento, sin precedentes instrumentales, experimentado por el planeta durante las últimas décadas (TRENBERTH *et al.*, 2007). Igualmente, y siguiendo esta hipótesis, a nivel Europeo se ha constatado que la tendencia de la variancia de la  $T_{\text{med}}$  diaria de verano entre 1976 y 1999 no puede ser explicada solamente por la variabilidad natural (KLEIN TANK *et al.*, 2003). Igualmente, KLEIN TANK y KÖNNEN (2003) han verificado, para el mismo período, que el número de días con  $T_{\min}$  superior al  $D_9$  ha aumentado de forma significativa en todas las estaciones europeas analizadas.

Durante las últimas décadas se han constatado cambios importantes en los extremos climáticos a nivel global y regional debido, entre otros factores, a alteraciones en la circulación atmosférica (TRENBERTH *et al.*, 2007). Para verificar esa hipótesis, se han calculado las correlaciones entre la serie estival de  $D_1$  en las  $T_{\min}$  (que es donde se detectan unas tendencias de mayor magnitud en las series analizadas para Lisboa) y las series de presión atmosférica a nivel del mar. Los resultados muestran la existencia de correlaciones positivas (negativas) entre la presión atmosférica en los sectores del Atlántico y la serie de  $D_1$  en las  $T_{\min}$ , así como negativas (positivas) con buena parte de Europa Occidental y norte de África (Fig. 2a). Así, los días con  $T_{\min}$  estivales inferiores (superiores) al  $D_1$  en Lisboa están ligados a altas (bajas) presiones en el Atlántico y bajas (altas) presiones en la parte Occidental de Europa y norte África, que comporta advecciones de componente norte (sur) sobre la Península Ibérica. Las tendencias de la presión atmosférica (Fig. 2b) durante el período 1950-2005 muestran un descenso de la presión en los sectores centrales del Océano Atlántico que se prolonga hasta la Península Ibérica. En cambio, se aprecia un aumento de las presiones en buena parte de Europa Occidental (especialmente entre los sectores septentrionales de las Islas Británicas y la Península Escandinava) y sectores septentrionales de África. Las tendencias de la presión y el patrón espacial de las correlaciones de la Fig.2a es coherente con la tendencia descendente y significativa de -5.93 días/ década detectada en la serie de  $D_1$  en las  $T_{\min}$ . Así, es posible argumentar que, por lo menos para el verano, es plausible vincular las tendencias de los extremos térmicos en Lisboa con cambios recientes en la circulación atmosférica.

#### 4. CONCLUSIONES

En la ciudad de Lisboa se ha constatado una disminución significativa del número de días con temperaturas inferiores y superiores al  $D_1$  y  $D_9$ , respectivamente, durante el período 1950-2005. Intraanualmente se observan diferencias importantes, siendo el verano e invierno las estaciones del año donde las  $T_{\min}$  y  $T_{\max}$  presentan unos cambios más acentuados desde la

segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. Igualmente, las  $T_{\min}$  presentan mayores tasas de cambio respecto a las  $T_{\max}$ , aspecto que refleja un aumento más acentuado de las temperaturas nocturnas respecto a las diurnas. Así, las  $T_{\min}$  presentan mayores tendencias respecto a las  $T_{\max}$  a resolución mensual, estacional y anual en los índices  $D_1$  y  $D_9$ , lo que se traduce en una fuerte disminución de los días fríos y un aumento brusco de las temperaturas nocturnas. Aunque los resultados aquí mostrados podrían estar fuertemente influidos por la propia expansión urbanística de la ciudad de Lisboa durante las últimas décadas, nuestros resultados son coherentes, aunque con ligeros matices, con los obtenidos para el conjunto de la España peninsular (BRUNET *et al.*, 2007). Así, es posible argumentar que las tendencias detectadas son en gran medida el resultado del actual cambio climático de origen antrópico. Por otra parte, la disminución de noches frías en el verano podrían ser explicados por cambios recientes en la circulación atmosférica. En concreto, a un mayor persistencia durante las últimas décadas de situaciones anticiclónicas en el norte de África que aportan masas de aire cálido sobre la Península Ibérica.

Aun así, y aunque gran parte del actual cambio en los extremos térmicos de la ciudad de Lisboa esté vinculados al actual calentamiento global, no puede descartarse que una parte de los cambios detectados puedan estar ligados parcialmente a la expansión de la urbanización de la ciudad que, entre otros impactos, dificulta la penetración de los vientos que conlleva una intensificación de la isla de calor urbana. Con todo, el cambio de la dinámica de las temperaturas – principalmente de la  $T_{\min}$  –, puede tener efectos importantes en el confort bioclimático de la ciudad, especialmente durante el verano, donde el estrés térmico es más elevado, siendo urgentes ciertas medidas que mitiguen sus efectos.

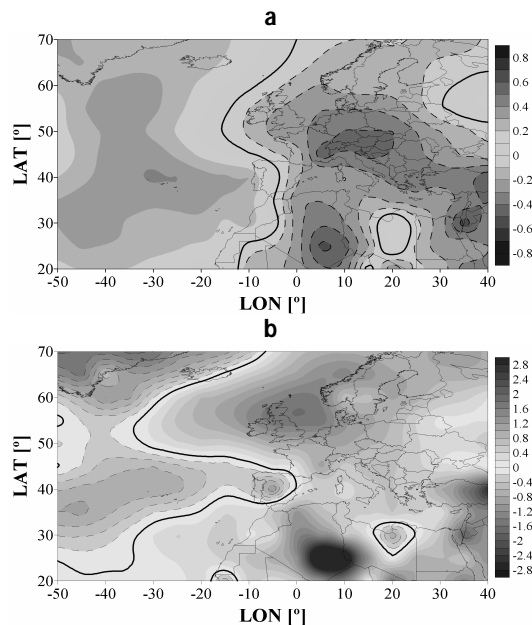


Fig. 2. (a) Distribución espacial de las correlaciones entre la serie de Lisboa de  $D_1$  en las  $T_{\min}$  y la presión en superficie en la estación estival durante el período 1950-2005. (b) Tendencias estivales de la presión en superficie (hPa) a lo largo del período 1950-2005.



## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las sugerencias del Dr. Joan Albert Lopez-Bustins. Arturo Sánchez-Lorenzo está financiado por el proyecto IPIBEX (CGL2005-07664-C02-01, 2006-2008) y una beca FPU del Ministerio de Ciencia e Innovación.

## 6. REFERENCIAS

- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIE, O.; SIGRÓ, J.; y LÓPEZ, D. (1999). Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el NE de España. En: RASO NADAL, J.M. y MARTÍN-VIDE, J. (Eds). *La climatología española en los albores del siglo XXI*, Publicaciones de la Asociación Española de climatología (AEC), Serie A, n.º1, pp. 103-112.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. (2001). Differential Response of Northeastern Spain to Asymmetric Trends in Diurnal Warming Detected on a Global Scale. En: BRUNET, M. y LÓPEZ, D. (eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer. Berlín, DE, pp. 95-107.
- BRUNET, M.; *et al.* (2007). "Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005". *Journal of Geophysical research*, Vol. 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.
- EASTERLING, D.R.; *et al.* (1997). "Maximum and minimum temperature trends for the globe". *Science*, 277, pp. 364-367
- EASTERLING, D.R.; MEEHL, G.A.; PARMESAN, C.; CHANGNON, S.A.; KARL, T.R. y MEARN, L.O. (2000a). "Climate extremes: Observations, modeling and impact". *Science*, 22, pp. 2068-2074.
- EASTERLING, D.R.; EVANS, J.L.; GROISMAN P.Y.; KARL, T.R.; KUNKEL, K.E. y AMBENJE, P. (2000b). "Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), pp. 417-425.
- FRICH, P.; ALEXANDER, L.V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN-TANK, A. y PETERSON, T.C. (2002). "Observed coherent changes in climatic extremes during 2nd half of the 20th century". *Climate Research*, 19, pp. 193-212.
- HEINO, R.; *et al.* (1999). "Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe". *Climatic Change*, 42, pp. 151-181.
- HUNDECHA, Y. y BARDOSSY, A. (2005). "Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century". *International Journal of Climatology*, 25, pp. 1189-1202.
- KLEIN TANK, A. M. G. ; *et al.* (2002). "Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment". *International Journal Climatology*, 22, pp. 1441-1453.
- KLEIN TANK, A.M.G y KÖNNEN, G.P. (2003). "Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99". *Journal of Climate*, 16, pp. 3665-3680.
- KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. y SELTEN, F.M. (2005). "Signals of Anthropogenic influence on European warming as seen in the trend patterns of daily temperature variance". *International Journal of Climatology*, 25, pp. 1-16.
- LABAJO, J.L.; LABAJO, A.L.; MARTIN, Q.; PIORNO, A.; MORALES, C. y ORTEGA, M.T. (2006). Análisis del comportamiento reciente de las frecuencias de los valores extremos de temperatura en la zona Madrid-Castilla la Mancha. En: CUADRAT

- PRATS, J.M.; SAZ SÁNCHEZ, M.A.; VICENTE SERRANO, S.M.; LANJERI, S.; DE LUIS ARRILLAGA, M. y GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C. (Eds.). *Clima sociedad y medio ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº5, pp.157-165.
- LOPES, A. (2003). *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano, vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- MEEHL, G.A.; WASHINGTON, W.M.; AMMANN, C.M.; ARBLASTER, J.M.; WIGLEY, T.M.L. y TEBALDI, C. (2004). "Combinations of natural and anthropogenic forcing in twentieth-century climate" *Journal of Climate*, 17, pp. 3721-3727.
- MOBERG, A. y JONES, P.D. (2005). "Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901 – 99" *International Journal of Climatology* 25, pp. 1149 – 1171.
- MOBERG, A.; *et al.* (2006). "Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000" *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D22106. doi:10.1029/2006JD007103.
- OKE, T.R. (1987) *Boundary Layer Climates*. 2nd . Methuen, London.
- PARKER, D. E. (2004). "Large-scale warming is not urban". *Nature*, 432, pp. 290.
- PEREIRA, P. y MORAIS, L. (2007). "Clima urbano e evolução da temperatura estival em Lisboa no século XX. Tendência, numero de noites quentes e amplitude térmica diária". *Finisterra*, XLII, 83, pp.109-126.
- QUEREDA SALA, J.; OLCINA, G.; CUEVAS, A. P.; CANTOS, J. O.; AMOROS, A. R.y CHIVA E M (2000). "Climatic warming in the spanish mediterranean: natural trend or urban effect". *Climate Change*, 46, pp. 473-483.
- SEVILHA, M.A.F. y RODRIGO, F.S. (2006). "Tendencias y índices de temperaturas diarias extremas en España, 1951-2002". En: CUADRAT PRATS, J.M.; SAZ SÁNCHEZ, M.A.; VICENTE SERRANO, S.M.; LANJERI, S.; DE LUIS ARRILLAGA, M. y GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C. (Eds.). *Clima sociedad y medio ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº5, pp. 138-145.
- SHAPIRO, S. y WILK, M. (1965). "An analysis of variance test for normality". *Biometrika*, 52, pp. 591-611.
- STEPANEK, P. (2006). *AnClim - software for time series analysis (for Windows)*. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno. 1.47 MB.
- STOTT P.A.; TETT, S.F.B.; JONES, G.S.; ALLEN, M.R.; MITCHELL, J.F.B.y JENKINS, G.J. (2000). "External control of 20<sup>th</sup> century temperature by natural and anthropogenic forcings". *Science*, pp. 2133-2137.
- TRENBERTH, K.E. y PAOLINO, D.A. (1980). "The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities". *Monthly Weather Review* 108, pp. 855-872.
- TRENBERTH, K.E.; *et al.* (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S.,D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- VOSE, R.S.; EASTERLING, D.R. y GLEASON, B. (2005). "Maximum and minimum temperature trends for globe: An update through 2004". *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23822, doi:10.1029/2005GL024379.

WIJNGAARD, J.B.; KLEIN TANK, A.M.G. y KOENNEN, G.P. (2003) Homogeneity of 20<sup>th</sup> century European daily temperature and precipitation, *Int. Journal of Climatology*, 23, pp. 679-692.